Pickup elementen

Een pickup element leest de modulatie in de groeven van een vinylplaat en zet deze trillingen om in een audiosignaal. Er bestaan verschillende soorten naalden en elementen voor draaitafels, ieder met hun specifieke eigenschappen.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 09-12-2019

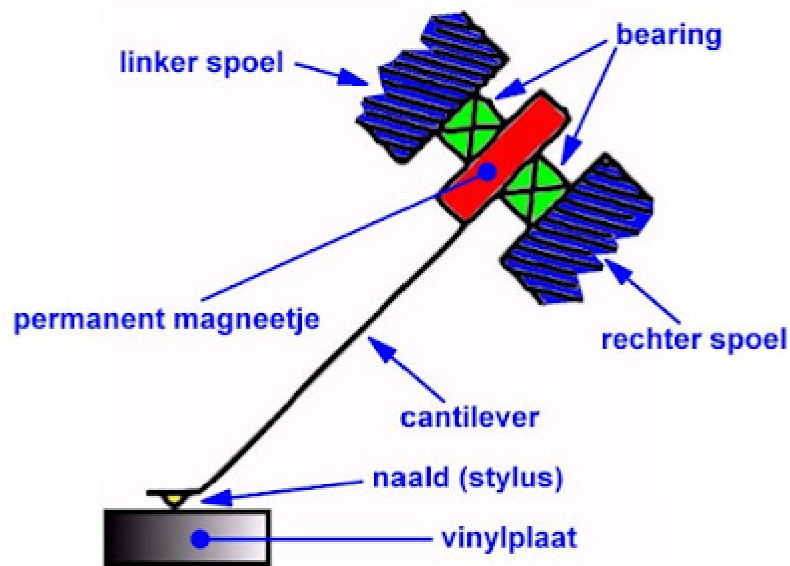
Pickup element = naald + mechanische transducer

Afspelen van een vinylplaat

Bij het afspelen van een vinylplaat volgt de arm van uw draaitafel de spiraalvormige groef en zal de naald van het pickup element de modulatie in de groefwanden omzetten in een mechanische beweging, een trilling. De naald moet zo nauwkeurig mogelijk de beweging van de snijbeitel volgen, iedere afwijking veroorzaakt immers vervorming in het geluid. Naalden zijn uit saffier of diamant vervaardigd. Saffier is een kristallijne vorm van aluminiumoxide Al_2O_3. Dit komt zowel voor in de natuur onder de vorm van een helderblauw edelgesteente als onder synthetische vorm. De saffier naalden van goedkope pickup elementen worden allemaal uit synthetisch saffier vervaardigd. In kwalitatief hoogwaardige elementen worden diamant naalden gebruikt, die veel slijtvaster zijn maar moeilijker te bewerken zijn en dus ook duurder.
De naaldbewegingen worden omgezet in een wisselspanning. Dit is de taak van de mechanische transducer, het *'element'* genoemd. Er is een vijftal manieren ontwikkeld om de mechanische modulatie in de groef om te zetten in een elektrische signaal. De MM- en MC-elementen worden tegenwoordig het meest toegepast.

De opbouw van een pickup element

In de onderstaande figuur is één van de mogelijke samenstellingen geschetst, namelijk van een moving magnet pickup element, lees verder. De geschetste onderdelen komen echter ook bij alle overige systemen voor.
De uiterst kleine aftastnaald, *'stylus'* genaamd, is op een klein buisje, *'cantilever'* genaamd, bevestigd. Dit buisje wordt op zijn plaats gehouden door een miniatuur rubberen ophanging, *'bearing'* genaamd. Rond de bearing zijn twee spoeltjes opgenomen. Aan de achterkant van de cantilever is een permanent magneetje bevestigd. Dit volgt samen met de naald de groefmodulatie in de plaat. Door de beweging tussen de magneet en de spoelen ontstaat een spanning in de spoelen. Deze wisselende spanning volgt de modulatie van de groef en wordt versterkt en als muziek doorgestuurd naar uw luidsprekers.



De schematische samenstelling van een pickup element. (© 2019 Jos Verstraten)

De levensduur van een pickup element
Nu het beluisteren van muziek via vinylplaten weer helemaal in is worden vaak oude platenspelers van zolder gehaald om de moderne vinylplaten af te spelen. Het lijkt er immers op dat een pickup element dat jaren niet is gebruikt ook niet aan slijtage onderhevig is geweest. Die gedachte klopt echter niet.
Wat vaak gebeurt is dat de rubberen ophanging (bearing) van de cantilever uitdroogt en daardoor stijf en onbeweeglijk wordt. Het gevolg hiervan is dat het element de kleine trillingen van de hoge tonen in de groeven niet meer goed volgt. Dit betekent niet alleen kwaliteitsverlies bij het beluisteren van een vinylplaat, maar ook dat uw oude pickup element in het ergste geval gaat werken als een soort van ploeg die de fijne modulatie van de groeven vernietigt.

De aftastnaalden (styli)

Bepalend voor de weergavekwaliteit
De kwaliteit van een draaitafel is in eerste instantie afhankelijk van de eigenschappen van de naald. Een goede naald moet in staat zijn de modulatie van de groefwand zo getrouw mogelijk te volgen, niet overstuur raken als er kleine afwijkingen ontstaan in de positie van arm ten opzichte van middelpunt van de vinylplaat (excentrische platen), de groef zo min mogelijk beschadigen en zelf nauwelijks afslijten. Er bestaan verschillende naaldvormen en -uitvoeringen, die alle het beste compromis proberen te vinden tussen tegengestelde eisen.

De afmetingen en de vorm van de naald
De afmetingen en de vorm van de naald moeten zodanig zijn dat er goed contact bestaat tussen de naald en de groefwanden, maar dat de punt van de naald vrij blijft van de bodem van de groef. Daar verzamelt zich immers allerlei microscopisch afval, dat er zelfs met het beste poetssysteem niet uit te krijgen is. Zou de punt van de naald de bodem raken, dan wordt dit afval weggeschraapt, hetgeen immense hoeveelheden ruis oplevert maar bovendien de slijtage van naald en groef bevordert. Bovendien zal de naald af en toe stuiteren over een iets groter brokje afval, hetgeen luide tikken in de weergave tot gevolg heeft. De vorm van de naald moet nu zo gekozen worden, dat de slijtage die optreedt niet tot gevolg heeft dat de naaldpunt tot op de bodem van de groef zinkt.

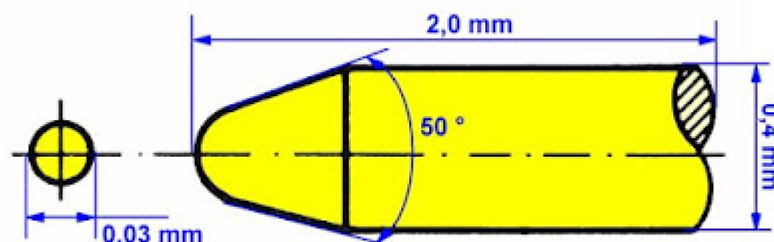
De druk van de naald
Die slijtage wordt voor een groot deel bepaald door de kracht waarmee de naald op de plaat drukt. Verminderen van de kracht heeft echter tot gevolg dat de naald bij de minste oneffenheid uit de groef springt of in de groef blijft hangen. Bovendien nemen de eisen die u

aan de arm moet stellen kwadratisch toe naarmate de naalddruk afneemt. Een te grote druk zal niet alleen tot extreem snelle slijtage van naald en groef leiden, maar zal ook tot ongewenst parasitaire naaldbewegingen voeren, die storend inwerken op de kwaliteit van de weergave.
U mag de druk die de naald op de groefwand uitoefent niet onderschatten. Stel bijvoorbeeld dat de kracht waarmee de naald op de plaat drukt gelijk is aan 30 mN (3,06 g). Stel verder dat het contactoppervlak tussen naald en groef gelijk is aan 5 µm en dat de wanden van de groef oneindig hard zijn, dus niet gaan vervormen onder de druk van de naald. U kunt de algemene formule voor het berekenen van drukken toepassen:
$P = F / A$
waarin A het contactoppervlak tussen de groef en de naald is:
$A = [d^2 \bullet \pi] / 4$
De kracht werkt echter onder een hoek van 45° in op de wand van de groef. U moet dus de verticale naaldkracht omrekenen, hetgeen een waarde van 21 mN oplevert. Ingevuld in de formule levert dit een druk op van niet minder dan $1{,}07 \bullet 10^9$ N/m^2. Een werkelijk enorme druk, die echter in de praktijk lager uitvalt omdat de wanden van de groef door deze druk worden ingedeukt en het contactoppervlak snel groter wordt ten gevolge van naaldslijtage. Maar desondanks blijkt de naalddruk ontzettend groot en het is dus logisch dat de naald uit een zeer hard materiaal moet worden vervaardigd.

De snelheid van de naald
De naald van een pickup element beweegt ten opzichte van de vinylplaat soms met de ongelooflijke snelheid van 100 km/h en wordt blootgesteld aan G-krachten van wel 100 G. Alweer een reden waarom naalden uit een keihard materiaal worden gefabriceerd.

De levensduur van de naald
De tegenwoordig gebruikte diamanten naalden hebben een levensduur van minstens 1.000 plaatkanten. Dit betekent dat u, als u één plaat per dag afspeelt, de naald na ongeveer anderhalf jaar moet vervangen. Toch zal een nieuwe naald erg snel tot een soort ellipsvorm afslijten. Na enige tijd stabiliseert dit slijtageproces zich min of meer en het is in feite vaker de toestand waarin de plaat zich bevindt die de levensduur van de naald bepaalt. Stoffige platen en radiale krassen over de plaat zijn de ergste vijanden voor de naald. Bovendien kan de punt van de naald afbreken door te wilde manipulatie van de arm. Stelt u vast dat er opeens veel meer ruis hoorbaar is dan normaal of vervormt het geluid, dan kunt u met tamelijk grote zekerheid er van uitgaan dat de naald beschadigd is.
Let op, de goedkope saffier naalden gaan maar ongeveer vijftig uur mee.

De saffier naald
Saffier naalden worden voornamelijk toegepast bij de goedkope piëzo-elektrische elementen. De naalden worden uit onder hoge druk gesmolten aluminiumoxide vervaardigd. De juiste vorm ontstaat door het slijpen met diamantpoeder, het oppervlak is uitstekend te polijsten. Deze relatief eenvoudige fabricagetechnieken bezorgen deze naalden hun vrij lage prijs.

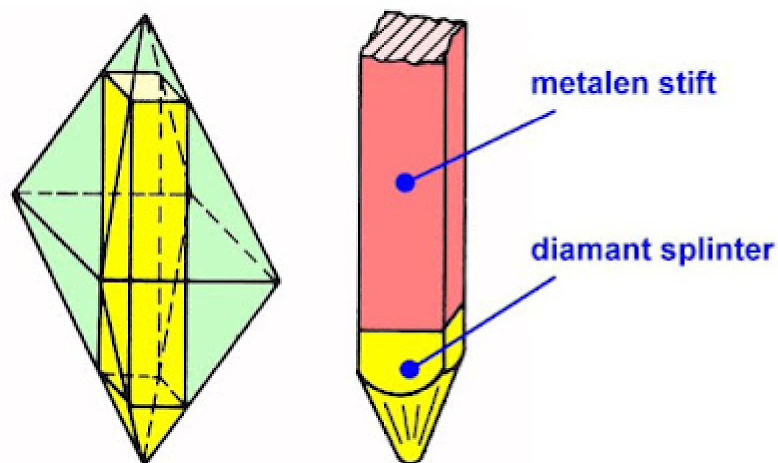


De afmetingen van een saffier naald. (© 2019 Jos Verstraten)

De diamant naald
Diamant is ongeveer honderd maal harder dan saffier. De naald is samengesteld uit chemisch zeer zuiver koolstof met een hardheid van 10. De hoge prijs wordt niet door de

grondstofkosten bepaald, maar door de moeilijke bewerking. Het voordeel van diamant is niet alleen de langere levensduur, maar ook de geringe slijtage die naalden uit deze grondstof in de groeven aanrichten.
Diamant naalden worden onderverdeeld in klasse-A of klasse-B:

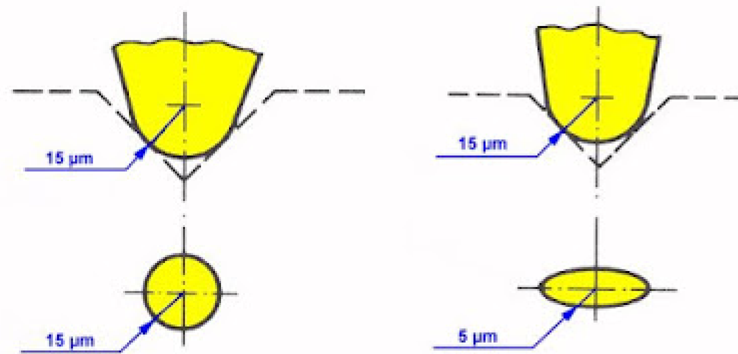
- **Klasse-A naalden**
  Deze worden uit zeer hoogwaardig natuurlijk diamant geslepen, zijn zeer hard en hebben een eigen massa van niet meer dan ongeveer 0,2 mg. In de onderstaande figuur is links een uit een natuurlijke octaëder geslepen naald van het type A voorgesteld.
- **Klasse-B naalden**
  Bij deze klasse bestaat alleen de punt van de naald uit diamant. Men kleeft een diamantsplintertje op een metalen drager en bewerkt deze combinatie nadien tot de gewenste vorm ontstaat. Het is echter nog niet mogelijk gebleken deze minuscule diamantsplintertjes allemaal volgens hun hoofd-as te richten (vergeet niet dat diamant een kristalstructuur heeft). Het gevolg is dat verschillende naalden van hetzelfde type zeer verschillend hardheidseigenschappen kunnen hebben. Bovendien is hun massa, vanwege het gebruik van veel zwaarder metaal, aanzienlijk groter. In de onderstaande figuur is rechts een B-naald, samengesteld uit een diamantsplinter en een metaalstift, getekend.



Een klasse-A (links) en een klasse-B (rechts) naald. (© 2019 Jos Verstraten)

De vorm van de naald, conisch of elliptisch
Het lijkt logisch te veronderstellen dat de punt van de naald rond is. Dergelijke ronde of conische naalden bestaan inderdaad, maar zijn niet de beste.
De diameter van de opeenvolgende windingen van de spiraal wordt steeds kleiner naarmate de naald het midden van de plaat nadert. Omdat de snelheid van de plaat constant is zal het duidelijk zijn dat de omtreksnelheid van de naald in de groef langzaam daalt. De golflengte van een signaal met constante frequentie zal daarom aan de rand van de plaat veel groter zijn dan in het centrum. Zo bedraagt de lengte van een periode van een sinusvorming signaal van 15 kHz in de buitenste groef 33 µm en in de binnenste groef nog slechts 13 µm. Dit heeft consequenties voor de vorm en de maximale grootte van de naaldpunt. Een zuiver conische (= ronde) naald van bijvoorbeeld 15 µm punt-straal is niet meer in staat een signaal met een frequentie van 15 kHz aan de binnenkant van de plaat weer te geven. De punt is groter dan de golflengte van het signaal in de groef. Vandaar dat men ellipsvormige naalden ontwikkeld heeft, die loodrecht op de groef slechts 5 µm breed zijn.
Deze naalden zijn in staat het volledige frequentiebereik op alle plaatsen van de plaat weer te geven. Bovendien benadert de ellipsvormige naaldpunt beter de vorm van de snijbeitel dan een zuiver rond geslepen naald. De elliptische naalden zijn echter veel duurder, zodat u deze alleen in elementen van de top-klasse aantreft. Ook de constructie van de arm moet van uitstekende kwaliteit zijn. Een elliptische naald zal, bij gelijke naalddruk, een veel grotere druk op de wanden van de groef uitoefenen dan een ronde naald. Bij het gebruiken van elliptische

naalden moet u dus de naaldkracht lager afstellen en niet alle armen zijn in staat de vereiste lage waarde in te stellen. Elliptische naalden worden ook wel eens *'bi-radiaal'* genoemd.



Vergelijking van een conische (links) met een elliptische (rechts) naald.
(© 2019 Jos Verstraten)

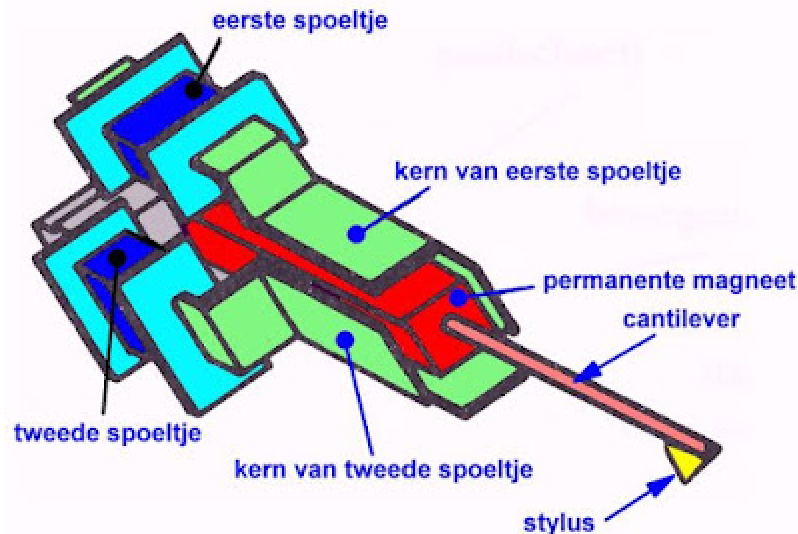
De elementen

Inleiding
Pickup elementen zijn kleine, maar zeer nauwkeurig geconstrueerde elektromechanische omzetters (transducers). Zij zetten de trillingen van de naald om in een wisselspanning. Er bestaan diverse typen, namelijk:

- Het magnetisch element met bewegend veld.
- Het magnetische element met variabele weerstand.
- Het dynamisch element.
- Het piëzo-elektrisch element.
- Het kristal element.
- Het ceramisch element.

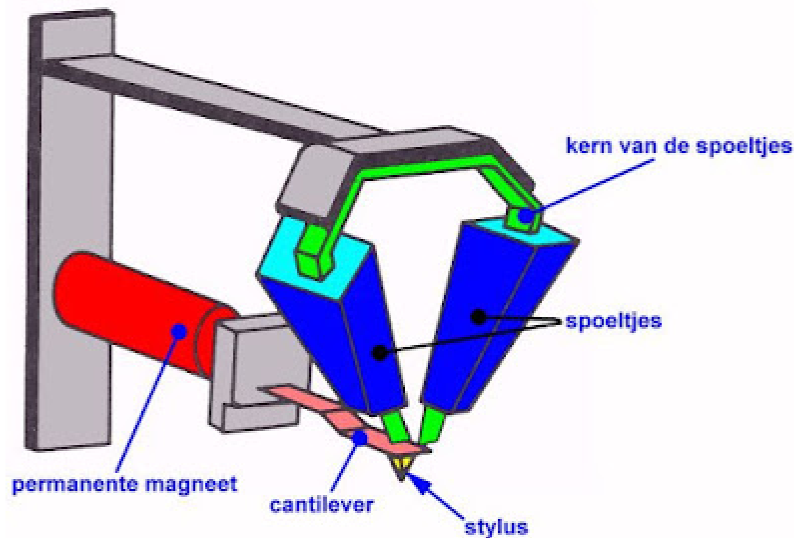
De magnetische elementen
Deze elementen worden in de handel meestal 'MM' genoemd, letterwoord voor *'Moving Magnet'*. Bij deze magnetische elementen zijn de spoeltjes vast opgesteld en worden doorlopen door het magnetisch veld van een permanent magneetje. Dit is star gekoppeld met de naald. Door de trillingen van de naald en de magneet wordt de luchtspleet tussen de magneet en de kernen van de spoeltjes groter en kleiner. Daardoor varieert het magnetisch veld in de kernen van de spoelen en wekken deze een wisselspanning op. De uitgangsspanning is proportioneel met de snelheid van de naald. Magnetische elementen leveren een vrij lage uitgangsspanning, maar hun frequentiekarakteristiek volgt deze van de spoelen van de snijbeitel. Omdat er bij het snijden van de plaat met bepaalde frequentie-correcties wordt gewerkt moeten deze correcties bij de weergave weer gecompenseerd worden. Dat noemt men de *'RIAA-correctie'*. RIAA is het letterwoord van *'**R**ecording **I**ndustry **A**ssociation of **A**merica'*.
Zowel de vrij lage uitgangsspanning als de noodzaak van correctie maken het gebruik van een speciale voorversterker met frequentiecorrectie noodzakelijk. De meeste versterkers zijn voorzien van zo'n speciale zeer gevoelige RIAA-voorversterker.
Moving magnet pickup elementen hebben nogal wat voordelen. Ze zijn goedkoop om te produceren, ze zijn erg licht en hebben een zeer flexibele cantilever ophanging. In de meeste gevallen kunt u de naaldeenheid zélf vervangen als de naald aan vervanging toe is. Dat is uiteraard goedkoper dan het hele element vervangen. De uitgangsspanning bedraagt gemiddeld 5 mV, zodat u het signaal niet extreem moet versterken met alle risico's van brom en ruis.
Het nadeel van deze pickup elementen is echter dat de bewegende delen zwaarder zijn dan die van een MC-systeem (lees verder). Een MM-element kan dus niet erg snel reageren op de uiterst kleine trillingen in de groeven bij de hoge frequenties in het signaal. Dat leidt tot een minder nauwkeurige weergave van de allerkleinste details in het opgenomen geluid.

De magnetische elementen met bewegend veld
De onderstaande figuur geeft de principiële opbouw weer. Twee onder de vorm van een kruis opgestelde U-vormige poolschoenen, de kernen van de spoeltjes, zijn ieder uitgerust met één spoeltje. De wikkelingen van deze spoelen zijn verbonden met de aansluitpennetjes van het element.
Tussen de U-vormige poolschoenen kan een kleine permanente magneet in alle richtingen vrij bewegen. Aan dit magneetje is een aluminium buisje bevestigd, de cantilever, waarop de naald is vastgeplakt. Het magneetje is door middel van een soepel lager uit rubber met het huis van het element verbonden. De bewegingen van de naald word dus rechtstreeks overgebracht op het magneetje. Dit gaat bewegen tussen de vier poolschoentjes die de kernen van de twee spoeltjes vormen. De luchtspleten tussen het permanente magneetje en de vier poolschoenen worden breder of smaller, het variërend magnetisch veld wekt in de spoelen inductiespanningen op. Deze volgen de grootte en de frequentie van de naaldbewegingen. De precieze onderlinge positie tussen de U-vormige poolschoenen is verantwoordelijk voor een uitstekende ontkoppeling tussen beide kanalen.



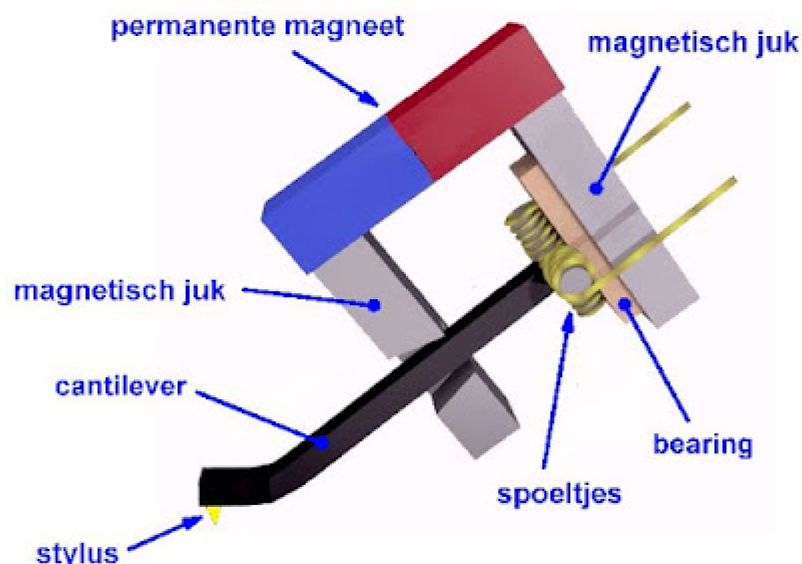
Een magnetisch element met bewegend veld. (© 2019 Jos Verstraten)

De magnetisch elementen met variabele magnetische weerstand
Uit de onderstaande figuur volgt de constructie van dit type element. Het noodzakelijk magnetisch veld wordt opgewekt door een vast opgestelde permanente magneet. Aan deze magneet is een magnetisch geleidend anker gekoppeld, dat tevens dienst doet als naalddrager. Dicht boven dit anker staan de twee kernen van de twee spoeltjes. Door de trillingen van de naald zullen de luchtspleten tussen dit anker en de kernen van twee elektromagneten groter en kleiner worden. Er ontstaat dus een gesloten magnetisch systeem, opgebouwd uit de permanente magneet, het anker, de luchtspleten, de kernen en het chassis waaraan alles bevestigd is. De magnetische weerstand van deze keten wordt bepaald door de grootte van de luchtspleten. Het gevolg is dat de magnetische flux zal variëren als de naald trilt. In de twee spoelen zullen dus inductiespanningen ontstaan.



Een magnetisch element met variabele magnetische weerstand. (© 2019 Jos Verstraten)

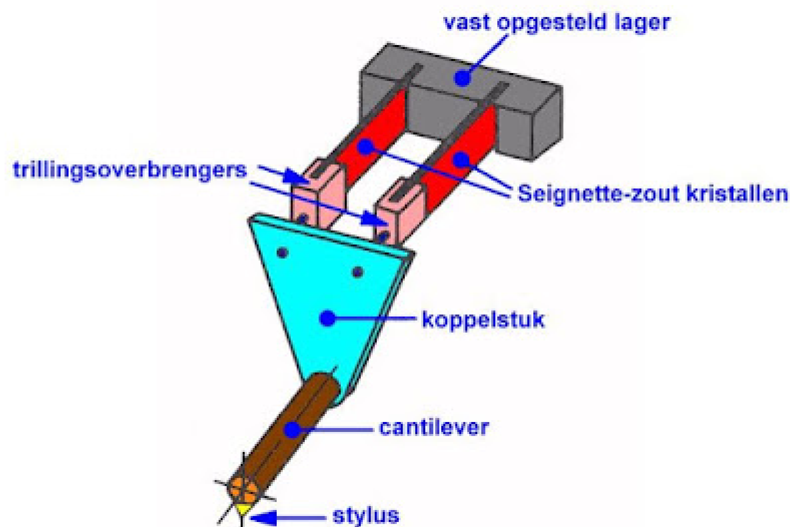
De dynamische elementen
Deze elementen worden in de handel meestal 'MC' genoemd, letterwoord voor *'Moving Coil'*. De constructie van de dynamische elementen vertoont veel gelijkenis met deze van de dynamische microfoons en luidsprekers. Twee zeer kleine en lichte bewegende spoelen zijn opgesteld in een constant magnetisch veld. De spoelen zijn uiteraard met de naaldhouder verbonden en de trillingen van de naald veroorzaken kleine spoelbewegingen, zodat er ook nu weer inductiespanningen ontstaan.
Ook bij deze elementen is de spanning recht evenredig met de bewegingssnelheid van de naald, zodat u deze elementen met een RIAA-correctieversterker moet afsluiten.
Het voordeel van MC-elementen is dat de massa van de bewegende onderdelen veel lager is en dat het element dus veel beter reageert op de kleine trillingen in de groeven. Een MC-element is vaak gemaakt van betere materialen, zodat een lichtere en stijvere cantilever ontstaat en een behuizing die minder resoneert. Dit kost natuurlijk extra, maar de geluidskwaliteit die een MC-element genereert is aanzienlijk beter is dan die van een MM-element.
Het grote nadeel van MC-elementen is dat de uitgangsspanning heel laag is, meestal zo’n 500 µV. Hierdoor moet u veel meer versterken en zijn deze elementen veel gevoeliger voor ruis en brom. Vaak wordt aangeraden een MC-element af te sluiten met een parallel-versterker, die erg weinig ruis produceert en aangepast is aan de zeer lage inwendige weerstand van dit soort elementen.
Een tweede nadeel is dat u een versleten naald niet los kunt vervangen, maar dat u een geheel nieuw element moet kopen.



Samenstelling van een MC-element. (© 2019 Jos Verstraten)

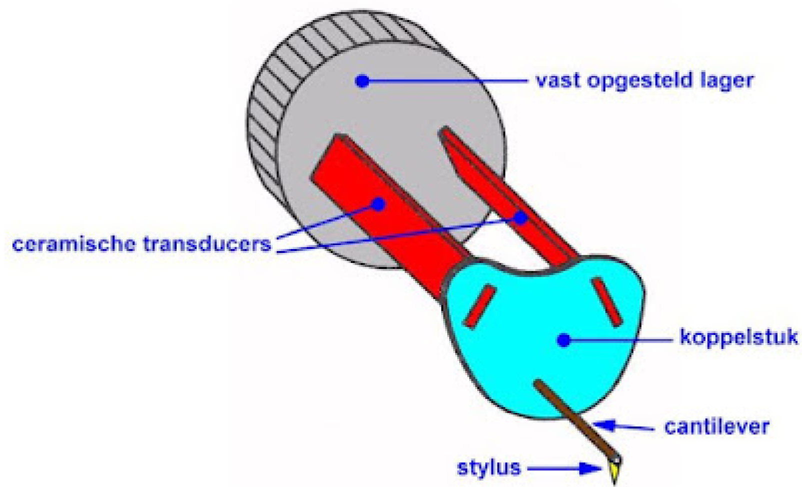
De piëzo-elektrische elementen
Bij deze elementen wordt gebruik gemaakt van het piëzo-elektrische effect. Bepaalde kristallijne stoffen zullen, als zij worden onderworpen aan mechanische vervormingen, een spanning opwekken. De bewegingen van de naald worden op het kristal overgedragen, de vervormingen die het resultaat zijn wekken de spanning op. Er zijn geen speciale compensatieversterkers noodzakelijk. De constructie is relatief eenvoudig, deze elementen zijn dus tamelijk goedkoop.

De kristal elementen
De onderstaande figuur toont de principiële opbouw van een kristal element. Hart van het systeem zijn twee monokristallijne langwerpige stroken Seignette-zout. De afmetingen bedragen ongeveer 12 mm bij 4 mm met een dikte van 0,3 mm. Deze zijn aan de ene kant vastgekleefd in een houder en aan de andere kant met de naalddrager verbonden via een koppelstuk. De uiteinden van deze reepjes kristal zijn door middel van opdamping elektrisch geleidend gemaakt, zodat u de spanningen kunt aftappen. De bewegingen van de naald worden door de speciale bevestiging van de naald aan de twee kristallen omgezet in torsievervormingen van de kristallen. Deze gaan dus als het ware om hun eigen as wringen, hetgeen zeer grote spanningen tot gevolg heeft.



Samenstelling van een kristal element. (© 2019 Jos Verstraten)

De ceramische elementen
De actieve elementen (ceramische transducers) zijn opgebouwd uit polykristallijne kunststoffen, zoals barium-titaan of lood-zirconium-titaan. Deze elementen zijn mechanisch steviger (breukvaster) dan de in de kristal elementen gebruikte Seignette-zout kristallen, zijn bovendien chemisch volledig inactief en niet hygroscopisch (vochtopnemend). Zij zijn veel soepeler dan de eerder genoemde kristallen en worden lineair met de naalddrager verbonden.



Samenstelling van een ceramisch element. (© 2019 Jos Verstraten)

De standaard aansluitkleuren van een pickup element

Ieder pickup element heeft vier aansluitingen, twee van de linker mechanische transducer en twee van de rechter mechanische transducer. De kleur van de vier draadjes is vanaf de jaren zestig van de vorige eeuw gestandaardiseerd:

- **Rood:** hete ader rechter kanaal.
- **Groen:** massa rechter kanaal.
- **Wit:** hete ader linker kanaal.
- **Blauw:** massa linker kanaal.

Soms treft u nog een vijfde, zwarte ader aan. Deze is dan verbonden met de metalen constructie waarin het pickup element zit en deze wordt bij het monteren van het element verbonden met het metalen chassis van de draaitafel.



Montage van een pickup element in de arm. (© www.hifi.nl)